



TITLE:

Development of a Rectenna Adapted to  
Ultra-wide Load Range for Microwave Power  
Transmission( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Huang, Yong

---

CITATION:

Huang, Yong. Development of a Rectenna Adapted to Ultra-wide Load Range for  
Microwave Power Transmission. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18992>

RIGHT:

許諾条件により本文は2015/04/01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	黄 勇
論文題目	Development of a Rectenna Adapted to Ultra-wide Load Range for Microwave Power Transmission (マイクロ波無線送電に適用した超広負荷範囲に対応できるレクテナの開発)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、マイクロ波無線送電に適した超広負荷範囲に対応できるレクテナ(整流回路付アンテナ)の開発を目的として、レクテナに最適な抵抗変換 DC-DC コンバータを設計し、超広範囲負荷で高効率を実現するレクテナ整流回路を開発し、その応用例として DC モータへマイクロ波無線送電を行ったものであって、6 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景として、ワイヤレス送電とマイクロ波無線送電の歴史を簡単に紹介している。ワイヤレス送電の三つの方式、すなわち、電磁誘導、電磁共鳴、マイクロ波無線送電の特徴を比較説明し、全世界におけるレクテナ開発の現状及び本研究の目的を示した。</p> <p>第 2 章では、RF-DC 整流回路と一般的な PWM 制御昇圧コンバータで構成された RF-DC-DC 回路を提案した。ワイヤレス送電における三つのインピーダンス整合手法を比較した結果、本研究では DC-DC コンバータを用いる手法を選択した。Harmonic Balance 法を用いた回路シミュレーションにより、負荷が 370Ω から 1.3kΩ までの範囲で 70%以上が得られる RF-DC-DC 回路の設計に成功した。この章では、DC-DC コンバータを用いて、整流回路のインピーダンス整合を行い、効率—負荷関係を改善することが可能であることがシミュレーション結果により確かめられた。</p> <p>第 3 章では、外部 DC 電源を用いた、定入力負荷特性を保つ反転非連続昇降圧コンバータを提案した。まず、昇圧、降圧、昇降 DC-DC コンバータの入出力電圧と入出力抵抗の関係の理論式を導き、入力抵抗が負荷抵抗および入力電力に依存しない非連続 (DCM)昇降圧コンバータが最適であることを明らかにし、選択した。DCM 昇降圧コンバータを作製し、実験を行った結果、100Ω から 5kΩ の広い負荷範囲で入力抵抗を一定に維持でき、効率も広い負荷範囲で 80%以上となった。整流回路とコンバータを接続し、RF-DC-DC 回路を構成したところ、100Ω から 5kΩ の広い負荷範囲で RF-DC-DC 回路効率 60%以上、整流回路の最大出力点を追跡する効率 94%以上を実現した。この章では、外部 DC 電源を用いた反転非連続昇降圧コンバータを用いて、レクテナの最大効率点の追従に成功し、広負荷範囲で高効率を実現する DC-DC コンバータ付整流回路の開発に成功した。</p> <p>第 4 章では、電力自給型の非反転非連続昇降圧コンバータを用いて、RF-DC 変換効率が負荷に依存しないレクテナを開発した。レクテナ整流回路および非反転自給型昇降圧コンバータの設計と製作を行った結果、(1) コンバータの制御部分は外部 DC 電源を必要とせず、レクテナから自己電力供給に成功、(2) 可変抵抗を用いて、コンバータの入力抵抗の調整に成功、(3) コンバータの対応できる負荷範囲は 200Ω から 10kΩ まで拡大、(4) 80 mW のマイクロ波入力電力で整流回路の最大効率は 82.5% まで向上、(5) 整流回路の最適負荷 190Ω に対して、コンバータの入力抵抗を 187Ω で設計し、昇降圧コンバータを用いて整流回路の最大出力点を追跡する効率は 97%以上まで向上、(6) RF-DC-DC 全体の効率は広い負荷範囲で 70% に向上、という成果を得た。この章では、電力自給型の非反転非連続昇降圧コンバータを用いて、外部電源不要で RF-DC 変換効率が負荷に依存しないレクテナの開発に成功した。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	黄 勇
<p>第 5 章では、開発した広負荷範囲に対応できるレクテナ整流回路を用いて、アンテナに接続してレクテナを開発し、トルクによって実際負荷特性が変動する DC モータへのマイクロ波無線送電実験を行った。実験のために 2 種類のマイクロ波受電用アンテナを新たに開発、最適なものを選択し、同時に整流回路を小型化し、合わせて平面型のレクテナを開発した。昇降圧コンバータは 4 章で開発したものをさらに改善し、制御発振器を一つとして、発振器の駆動電圧を入力電圧からまたは出力電圧から提供するような 2 種類の昇降圧コンバータを提案し、開発した。送電実験では複数の整流回路とコンバータを組み合わせることで最適な組み合わせを求め、レクテナアレーを開発し、最適な組み合わせにおいて、DC モータの負荷変動に依らず、高効率のマイクロ波無線給電に成功した。また、通信と送電両立するためのワイヤレスセンサー端末に応用を目的としたパルス送電の実験も行った。この章では、複数のレクテナと昇降圧コンバータで構成したコンパクトなレクテナアレーを用いて、実際に負荷特性が変動する DC モータへのマイクロ波無線送電実験に成功した。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、マイクロ波無線送電に適した超広負荷範囲に対応できるレクテナを開発することを目的とし、定入力抵抗特性を保つ DC-DC コンバータを接続することで、負荷に依存せずに最大効率で動作することができるレクテナを開発したものであり、成果は以下の通りである。

1. レクテナの整流回路と DC-DC コンバータを一つの回路として Harmonic Balance 法を用いてシミュレーションモデルを確立した。その結果、 $370\Omega$ - $1.3k\Omega$  の広負荷範囲で整流ダイオードにかかる最大逆電圧が制限でき、ダイオード逆耐電圧を越えることなく安定に整流動作を行うことができる効率 70%以上の整流回路の設計に成功した。
2. 一般には他の目的のために用いられる昇圧、降圧、昇降圧コンバータの入出力電圧と入出力抵抗の関係を明らかにした。その結果、レクテナに使うために最適なのは、出力電圧及び入力抵抗が入力電圧及び接続負荷と無関係に設計できる昇降圧コンバータであることを初めて明らかにした。外部 DC 電源を用いた反転非連続昇降圧コンバータを用いて、レクテナの最大効率点の追従に成功し、 $100\Omega$ - $5k\Omega$  の広負荷範囲で効率が 60%を超える DC-DC コンバータ付整流回路の開発に成功した。
3. 電力自給型の非反転非連続昇降圧コンバータを用いて、外部電源不要で RF-DC 変換効率が負荷に依存しないレクテナを開発した。 $200\Omega$ - $10k\Omega$  の広負荷範囲(1:50、他研究結果(1:10 以下)に比べ 5 倍以上広負荷範囲)で効率 66%以上の DC-DC コンバータ付整流回路の開発に成功した。
4. 複数のレクテナと昇降圧コンバータで構成したコンパクトなレクテナアレーを用いて、実際に負荷特性が変動する DC モータへのマイクロ波無線送電実験に成功した。

以上要するに本論文は、マイクロ波送電に対する要求であった負荷変動に効率が影響されないレクテナの開発の成功したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日：            年            月            日以降